

## エッジモードとその圧電共振子およびフィルタへの 応用に関する研究

著者	伊関 雄二
号	901
発行年	1982
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9637">http://hdl.handle.net/10097/9637</a>

氏 名	伊 関 雄 二
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 58 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	エッジモードとその圧電共振子およびフィルタへの 応用に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 清水 洋
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 清水 洋      東北大学教授 御子柴宣夫 東北大学教授 山之内和彦      東北大学助教授 中村 僖良

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

現在, 中波帯用の圧電共振子やフィルタには, 振動子全体が振動する輪郭振動が専ら利用され, 振動の節点を半田付け等によって線支持する方式が用いられている。このことが, 特性の劣化やバラツキの主な原因となり, また, 素子の小形化や高信頼化の要求に対する大きな制約となっている。

これに対し, 支持方式の改善を図るものとして, 幅すべり振動を利用したコンベックス型振動子や水晶のリソグラフィ加工を活用し, 支持部と振動部が一枚の板から成る振動子などが提案されている。しかし, これらは, 振動子形状が複雑で加工の簡便さに欠けるなどの欠点を有している。

本研究の目的は, これまで不要振動モードとして扱われその抑圧法だけが検討されていたにすぎないエッジモードという特殊な振動モードに着目し, 単純な形状で, 支持による振動への影響の無い新しい型の中波帯用振動子を開発することである。エッジモードは, その振動エネルギーが振動子端部に集中しているため, エネルギー閉込め型振動子と同様に, 振動子を吸音材で固定・支持しても振動への影響はほとんど無く, 小形で不要振動の少ない中波帯用振動子が期待できる。

本論文は, 半無限長ストリップの板幅で共振周波数が定まるエッジモードを理論解析し, その性質を把握すると共に, 圧電セラミックおよび水晶振動子への利用についての検討を行い, その諸特性を明らかにするものである。

## 第2章 半無限長ストリップにおけるエッジモードとその理論解析

本章では、圧電セラミックにおけるエッジモードについての解析例を示しており、対称幅振動の分散曲線における1次と2次の複素分枝を用いて変分法による近似解析を行っている。厳密な解析を行うためには、無限個の複素分枝と1個の実数分枝( $L_1$ )を考慮する必要があるが、共振周波数の計算値と実測値との誤差および応力自由の境界条件の満足度から、エッジモードは1次の複素分枝だけでほぼ定まり2次以上の高次の複素分枝を無視しても十分な近似度が得られることを示している。また、エッジモードが伝搬モードと結合すれば、エッジモードはエネルギー損失を伴うことになり共振尖鋭度が低下する。伝搬モード( $L_1$ )を考慮した解析によれば、圧電セラミックのエッジモードでは、わずかながら $L_1$ との結合が生じ共振尖鋭度 $Q$ は1万程度であるが、材質だけの損失で決まる $Q$ と比較すれば十分大きな値であり、実用上問題はないとしている。

さらに、変位分布、機械的歪の分布および振動子端部への振動エネルギーの集中度などの諸特性を調べている。変位は、振動子端部で最大で長さ方向に波打ちながら減衰しており、振動エネルギーは、端部から幅の2倍の距離内に99.9%以上集中していることを明らかにしている。

## 第3章 圧電セラミック共振子への応用

本章では、エッジモードだけを強く励振し、容量比の小さな共振子を実現するための方法として電極形状の最適化を図っている。つまり、振動による誘起電荷に比例する図1に示すような面積歪分布を計算し、この分布に形を合わせた図2のような半円状電極および逆位相電極を併用する構成など2,3の励振電極構成を提案している。さらに、各構成について電極寸法と容量比の関係を理論計算し、最適な電極寸法を定めている。

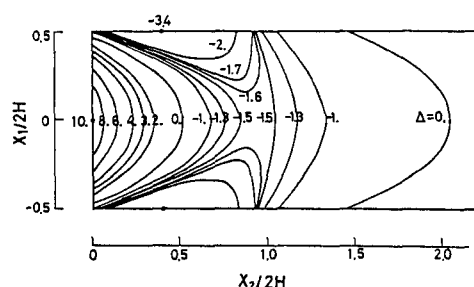
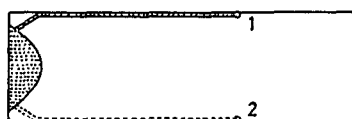
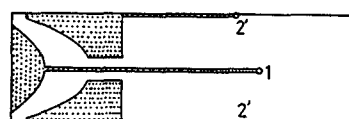


図1 圧電セラミックにおけるエッジモードの面積歪分布



(a) 半円状電極構成



(b) 逆位相電極を併用する構成

図2 エッジモード圧電セラミック共振子の電極構成

図3は、半円状電極構成の場合についての計算結果例で、最大値の30%程度の面積歪の等値線に形を合わせた電極を用いれば容量比を最小にできることを示している。容量比の実測値と計算値との誤差は10%程度であり、ほぼ実用的な容量比が得られることを確かめている。また、エッジモ

ードの共振にはほとんど影響を与えずに、共振子の幅の2倍程度離れた部分を吸音・支持できることを示し、他の輪郭振動と異なり調和高次モードが存在しないために最低次の厚み振動の共振周波数までの広い周波数範囲に亘り不要振動モードの少ない小形の共振子を実現している。

### 第4章 圧電セラミックフィルタへの応用

本章では、圧電フィルタの構成法として、共振子の電極を2分割して、入出力端子とする単一モード三端子フィルタおよび共振子を2個弾性的に結合させる二重モードフィルタを提案し、試作実験によりその有用性を確認している。

単一モード三端子フィルタでは、入出力電極間の分割幅などの電極形状の最適化を図り、フィルタを3～4個縦続接続すれば、図4に示すように保証減衰量や周波数選択度に優れた特性が得られることを示している。

また、フィルタの広帯域化を図る目的で、2個の共振子を弾性的に結合させることができれば、単一モード三端子フィルタの2倍以上の帯域幅が得られることに着目し、一枚の圧電材の端部を細い溝で2分割し、その底部で弾性結合させる二重モードフィルタについて検討している。弾性的な結合の強さの溝寸法依存性を実験的に調べ、溝寸法を適当に選べば、この構成における最も広い帯域幅を得ることができ、予想どおりに広帯域化が可能であることを示している。

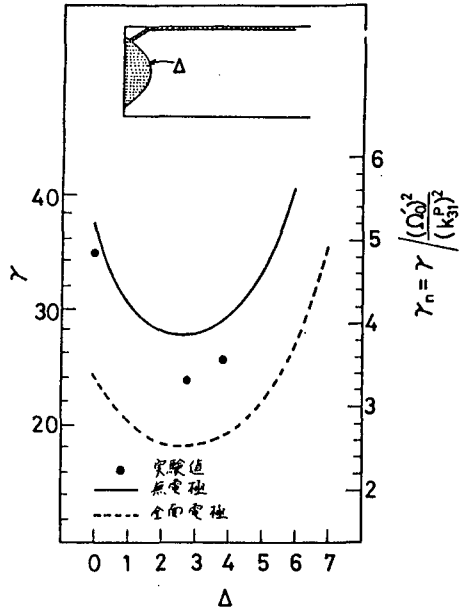


図3 半円状電極を用いた場合の面積歪 $\Delta$ の等値線に一致する電極の輪郭形状と容量比 $\gamma$ の関係

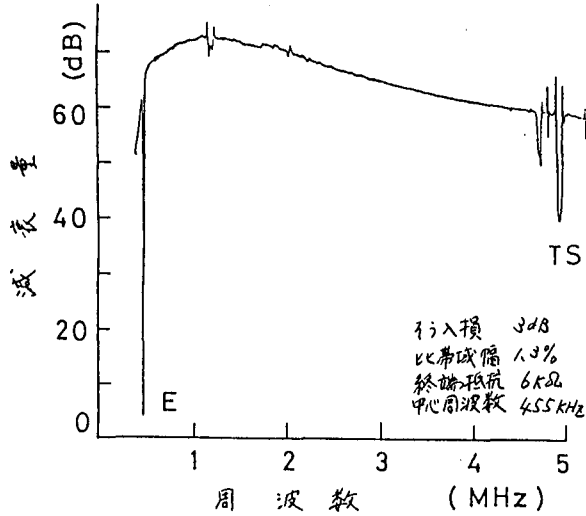


図4 半円状電極を用いた単一モード三端子フィルタの特性（4個縦続接続した場合）

## 第5章 水晶振動子への応用

本章では、高い周波数安定性と高い共振尖鋭度を有するエッジモード水晶振動子を実現する目的で、温度特性、共振尖鋭度および容量比の3特性に関し、その結晶切断方位依存性を解析的に調べ、最適切断方位の探索を行っている。

水晶におけるエッジモードは、圧電セラミックの場合とは異なり、結晶の異方性により伝搬モード ( $L_1$ ) の他に斜対称幅振動の伝搬モード ( $WS_1$ ) と結合する場合が存在する。本解析では、主に共振尖鋭度への影響の大きい伝搬モード ( $WS_1$ ) だけを考慮し、そのパワーフローに基づく損失エネルギーとエッジモード共振の運動エネルギーの比から共振尖鋭度を算出している。解析の結果、結晶の対称性により  $WS_1$  との結合が無く高い共振尖鋭度が期待できる図5に示すような回転Y板において、1500~3000の容量比で  $\alpha = 0$  の零周波数温度係数を有するカットが幾つか存在することを明らかにしている。また、高い共振尖鋭度を得るために、振動子端部の傾き角および切断方位誤差と共振尖鋭度の関係を詳しく調べ、実際に振動子を作製する際の切断誤差の許容範囲を明らかにしている。

以上の解析結果に基づき、回転Y板で容量比が比較的小さく零温度係数を有する3種のカットについて試作実験を行っている。その結果、線支持方式を用いた場合、真空中での共振尖鋭度は3~4万であり、温度特性についても計算結果から予想されたように、常温付近に頂点温度を有し上に凸の2次曲線を示すことを実証し、エッジモード水晶振動子の有用性を指摘している。

## 第6章 結 論

本章では、各章の内容を要約し、結論としてまとめている。

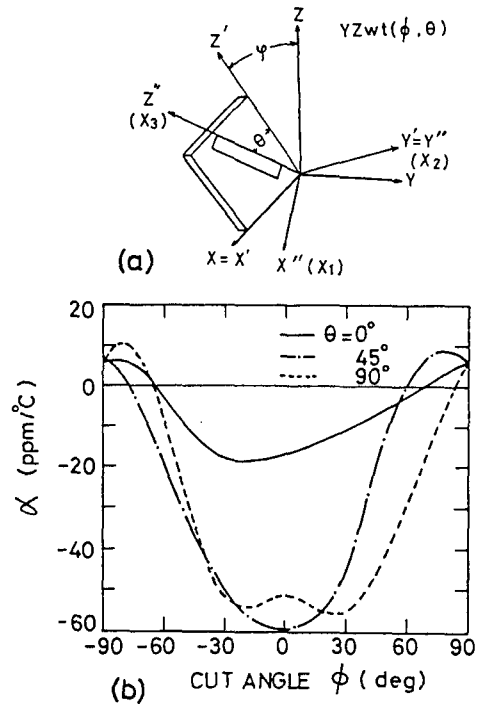


図5 回転Y板における1次の周波数温度係数 $\alpha$ と切断方位の関係

## 審 査 結 果 の 要 旨

中波帯用の圧電共振子やフィルタには、振動子全体が振動する輪郭振動が専ら利用されているため、線支持などの特別の支持が必要であり、これが、特性のバラツキや劣化の原因となり、素子の小形化や高信頼化に対する大きな制約となっている。著者は、従来不要振動として扱われてきたエッジモードが圧電ストリップの端部だけに変位の集中した特異な振動モードであることに着目し、これを用いて支持の影響のない小形で高性能の中波帯圧電共振子およびフィルタを開発した。本論文はその成果をまとめたもので全文 6 章よりなる。

第 1 章は緒論である。第 2 章では、圧電セラミックの半無限長ストリップにおけるエッジモードについて、分散曲線の 1 次と 2 次の複素分枝を用いて変分法により解析を行い、変位や機械的歪の分布などの諸特性を調べ、端部から板幅の 2 倍の距離内に 99.9 % 以上の振動エネルギーが集中していることを明らかにしている。

第 3 章では、エッジモードを効果的に励振するための二三の電極構成法を提案し、最適電極形状を与えると共に、特性に影響しない吸音支持の可能性を実験により確認している。また、エッジモードには高次モードが存在せず、広い周波数範囲にわたり不要振動の少ない良好な共振子特性が得られることを明らかにしている。

第 4 章では、エッジモードを利用した単一モード三端子フィルタおよび二つのエッジモードを結合させた二重モードフィルタの構成法を提案し、これを用いて、約 5 MHz まで不要応答のない優れた特性の 455 kHz IF フィルタを実現している。

第 5 章では、高安定の共振子を実現する目的で水晶を用いたエッジモード振動子について検討している。まず、結晶の異方性と振動子形状に基づく非対称性が、エッジモードと伝搬モードを結合させ、共振尖鋭度  $Q$  を低下させることを、理論計算によって明らかにしている。次に、 $Q$  および共振周波数の温度特性と結晶切断方位との関係を詳細に理論解析し、高い  $Q$  と零周波数温度係数の得られるカットが幾つか存在することを明らかにすると共に、各カットでの容量比および許容切断精度を求めている。さらに、共振子の試作・実験により解析結果を検証し、二三の有用なカットを示している。第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、圧電ストリップの端部にエネルギーの集中したエッジモードの諸特性を解明し、その特徴を活用して支持が容易で小形・高性能の新しい中波帯圧電共振子およびフィルタを開発したもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。